

## **РАСЧЕТНО-ЭМПИРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В ПРОКАТНЫХ КЛЕТЯХ**

Предложен метод определения максимальных динамических нагрузок в главной линии привода прокатной клетки при захвате полосы валками. В статистическую модель переходных процессов задается измеренное среднее значение момента электродвигателя и случайные значения углового зазора. Получаемые корреляционные поля динамических и статических нагрузок для широкого диапазона прокатываемых сортов полос позволяют совершенствовать технологию прокатки и работу оборудования, накапливать данные для расчета его ресурса.

*Ключевые слова:* момент двигателя, момент сил упругости, линия привода, случайный зазор, корреляционное поле.

The study offers a method of determining maximum dynamic loads in the main rolling stand drives at the moment of strip biting. The measured average value of the motor torque and casual values of the angular gap are entered into the statistical model of transient processes. The resulting correlation fields of dynamic and static loads for a wide range of the rolled strips contribute to the improvement of the rolling technology and equipment operation.

*Key words:* torque of engine, elastic force moment, drive line, casual clearance, correlation field.

В процессе проектирования и эксплуатации прокатных станов, освоения новых сортразмеров, выбора деформационно-скоростных режимов и решения других задач необходимо знание максимальных динамических нагрузок, формирующихся в линии главного привода при захвате полосы валками. Их измерение в промышленных условиях сопряжено с трудоемкими и дорогостоящими работами. Станы не оснащены измерителями крутящих моментов, а момент электродвигателя не отражает специфику переходных процессов в механической системе по амплитуде колебаний (рис. 1).

В Институте черной металлургии им. З. И. Некрасова НАН Украины разработан расчетно-эмпирический метод определения максимальных динамических нагрузок. В его основу положена известная идентифицированная математическая модель переходных процессов в электромеханической линии главного привода прокатной клетки с учетом зазоров в шпиндельном сочленении (С. Н. Кожевников, С. Л. Коцарь и др.). Сопротивление пла

стической деформации, усилие и момент прокатки рассчитываются согласно известным зависимостям теории прокатки широких полос (В.И. Зюзин, А.И. Целиков и др.). Принят во внимание также тот факт, что с учетом большого количества случайных возмущений со стороны технологии (разброс температуры, толщины, ширины полосы, скорости прокатки и др.) и оборудования (угловые зазоры) реализации момента сил упругости  $M_d(t)$  и электродвигателя  $M_{эл}(t)$  носят стохастический характер. Для непрерывных широкополосных станов распределение моментов по длине полосы и средние значения  $M_d$  и момента  $M_{эл}$  в партиях прокатанных полос подчиняются нормальному закону распределения.

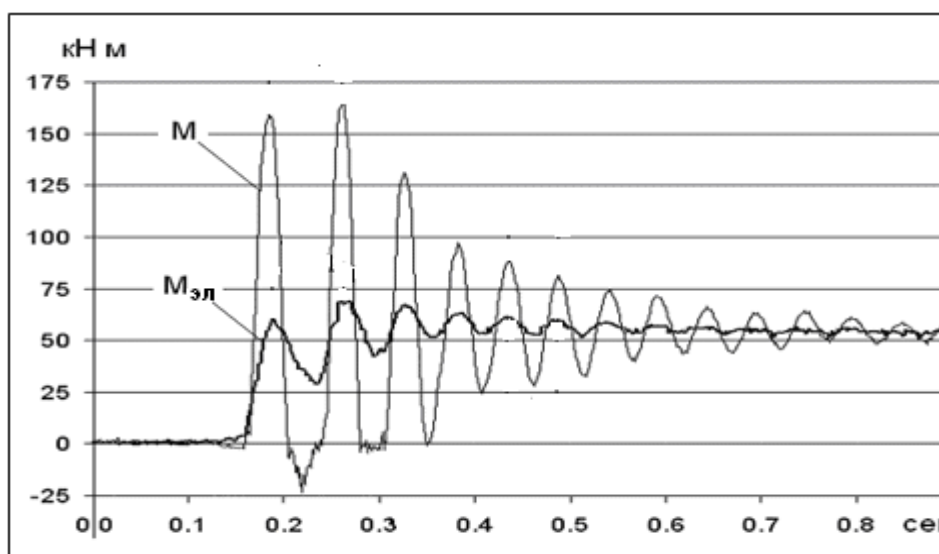


Рис. 1. Момент сил упругости  $M$  на валу между редуктором и двигателем и момент электродвигателя  $M_{эл}$ , совмещенная запись. Клеть 5, стан 1680

Установлено, что при отсутствии возмущений имеет место линейная детерминированная зависимость для максимальных значений  $M_d(M_{эл})$ . Постепенное наращивание случайных возмущений приводит к формированию корреляционного поля ( $M_d$ ,  $M_{эл}$ ) и увеличению его распушенности. Результаты моделирования хорошо согласуются с данными опытно-промышленных измерений (рис. 2, а). Полученное корреляционное поле аппроксимируется линейной зависимостью  $M_d(M_{эл})$ , которая отражает усредненное влияние возмущений на  $M_d$  и  $M_{эл}$ . Измеренные средние значения  $M_{эл}$  момента двигателя представляют собой множество случайных чисел, полученных за определенный период для каждой прокатанной полосы, в которых отразилось воздействие случайных возмущений со стороны технологии.

Фактически процесс прокатки является своеобразным датчиком случайных средних значений  $M_{эл}$  по каждой полосе. Идея метода состоит, во-первых, в том, чтобы на вход в модель переходных процессов в качестве нагрузки задавать для каждой полосы свое определенное по результатам

измерений значение  $M_{эл}$ , приведенное к валковой системе. Вторым момент заключается в задании среднего значения углового зазора  $\delta$  в шпиндельном сочленении с учетом случайной составляющей его разброса  $\sigma_\delta$ . Величина  $\delta$  вычисляется по данным периодических измерений износа бронзовых вкладышей в шпинделях во время перевалки валков или по результатам диагностических действий [1].

В результате статистического моделирования формируется корреляционное поле расчетных максимальных динамических нагрузок  $M_d$  и эмпирических средних значений момента для каждой полосы в установившемся режиме прокатки  $M_{эл}$  (рис. 2). Сравнение фактического и расчетного корреляционных полей и аппроксимаций показывает хорошую их сходимость. Чем точнее определен угол  $\delta$  и его разброс, тем точнее аппроксимация. Предложенный метод позволяет решать ряд следующих задач.

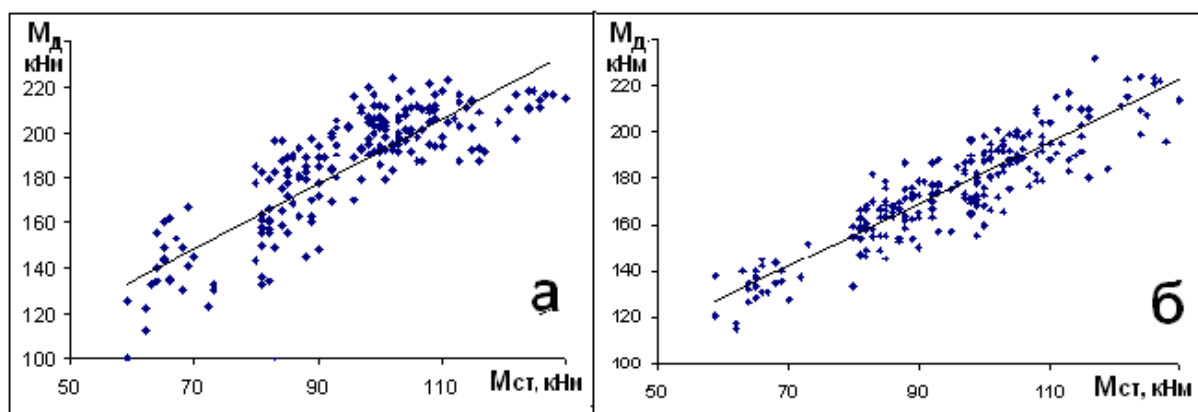


Рис. 2. Фактическое (а) и расчетно-эмпирическое (б) корреляционные поля значений  $M_d$ ,  $M_{ст}$  для прокатанных партий полос. Клеть 5, стан 1680.

При необходимости прокатки более тяжелого сортамента (по размерам и марке стали) с помощью линейной аппроксимации, имеющей конкретное аналитическое выражение для  $T_i$ -го периода работы клетки, можно определить ожидаемую максимальную динамическую нагрузку, ее вероятность и принять обоснованное решение.

Если для данной клетки задано предельно допускаемое значение максимального динамического момента, можно определить имеющиеся резервы оборудования с учетом расчетно-эмпирических значений максимальной нагрузки.

Построение расчетно-эмпирических корреляционных полей одновременно для всех клеток чистовой группы непрерывного стана, когда ввиду разного времени наработки износ бронзовых вкладышей и величин углового зазора в них разный, позволяет определить наиболее и наименее нагруженные клетки. Подобные знания дают основание принять решение о

перераспределении обжатию в клетях с целью уменьшения динамических нагрузок в наиболее нагруженных клетях.

Вычисляя для каждой реализации  $M_{эл}(t)$  в партии полос определенного сортамента  $m$ ,  $\sigma$  и коэффициент вариации  $\nu$  и его среднее значение по партиям можно оценивать стабильность процесса прокатки в каждой клетке отдельных полос и их партий.

Положив в основу математической модели многомассовую расчетную схему, динамические нагрузки согласно данному методу можно определять в узлах оборудования, недоступных для измерений момента. В результате появляется возможность накапливать массивы данных о нагрузках, действующих на разные узлы и детали, определять спектр нагрузок за разные периоды работы стана.

В настоящее время большие массивы информации данных измерений моментов электродвигателей отправляются в архив. Их анализом занимаются только в случаях нарушения технологии или неполадок в оборудовании. Предлагаемый метод позволяет использовать эти массивы и с помощью статистической модели в свою очередь накапливать массивы максимальных динамических нагрузок с целью совершенствования режимов обжатию и работы оборудования, учета их при расчете ресурса различных элементов главных линий клетей.

В Институте черной металлургии на основании изложенного метода разработан алгоритм и программное обеспечение для оценки нагруженности главных линий клетей ШПС горячей прокатки 1680 и стабильности технологического процесса по данным измерений момента главных приводов.

### Список литературы

1. Динамические процессы в клетях широкополосного стана 1680 / В. В. Веренев, В. И. Большаков, А. Ю. Путноки, А. Г. Маншилин, С. В. Мацко: монография. Днепропетровск: ИМА-пресс, 2011. 184 с.